

〈논 문〉

광픽업 미세구동부의 최적설계

이문구* · 권대갑**

(1996년 11월 4일 접수)

Optimal Design of a Fine Actuator for Optical Pick-up

Moon G. Lee and Dae-Gab Gweon

Key Words: Optical Pick-up Actuator (광픽업구동기), Viscous Damping (점성감쇠), Multiobjective Optimization (다목적 최적화)

Abstract

In this paper, a new modeling of a fine actuator for an optical pick-up has been proposed and multiobjective optimization of the actuator has been performed. The fine actuator is constituted of the bobbin which is supported by wire suspension, the coils which wind around the bobbin, and the magnets which cause the magnetic flux. If current flows in the coils, magnetic force is so produced as to be balanced with spring force of wire, so the bobbin is positioned. In this model the transfer function from input voltage to output displacement of bobbin has been obtained so that we can describe this integrated system with electromagnetic and mechanical parts. Wire suspension is regarded as a continuous Euler beam, damper as distributed viscous damping, and bobbin as a rigid body which can move up- and down-ward motion only. According to the model, the high frequency dynamic characteristics of the fine actuator can be known and the effect of damping can be investigated while the conventional second order model cannot. In multiobjective optimization, two objective functions have been chosen to maximize the fundamental frequency and the sensitivity with respect to the input voltage of the actuator so that Pareto's optimal solutions have been obtained using ϵ -constraint method. These objective functions will satisfy the trends which will enhance the access speed and reduce the tracking error in the optical pick-up technology of next generation. In the result of optimization, we obtain the designs of the optical pick-up fine actuator which has high speed, high sensitivity and low resonant peak. Furthermore, we offer the relation between two object functions so that the designer can make easy choice.

기 호 설 명

$J(b)$: 목적함수벡터

$J_i(b)$: 첫번째 고유진동수를 최소화하기 위한 목적함수

$J_2(b)$: 구동감도를 크게 하기 위한 목적함수

b : 설계변수벡터

$b_{i,min}$: J_i 를 최소화하는 설계변수벡터

$C[\cdot]$: 감쇠 미분연산자

$L[\cdot]$: 강성 미분연산자

$M[\cdot]$: 질량 미분연산자

$F(t)$: 각 와이어 서스펜션에 가해지는 힘

*한국과학기술원 기계공학과

**회원, 한국과학기술원 기계공학과

- $P(t)$: 보빈의 코일에 가해지는 자기력
 $Y_i(x)$: 와이어 서스펜션의 각 모드의 특성함수
 A : 와이어 서스펜션의 단면적
 B : 코일이 지나는 공기층의 자속밀도
 D_f : 포커싱코일의 지름
 D_t : 트래킹코일의 지름
 E : 와이어 서스펜션의 강성 (Young's modulus)
 I : 와이어 서스펜션 단면적의 면적모멘트
 L : 와이어 서스펜션의 길이
 L_c : 코일의 인덕턴스
 R_c : 코일의 저항
 V : 입력전압
 $f(t)$: 각 와이어 서스펜션이 받는 단위길이당의 힘
 $i(t)$: 각 코일에 흐르는 전류
 $u(t)$: 보빈의 변위
 $y(x, t)$: 와이어 서스펜션의 변위
 b_f : 포커싱코일의 폭
 b_t : 트래킹코일의 폭
 c : 와이어 서스펜션에 가해지는 단위길이당의 점성감쇠
 d : 와이어 서스펜션의 지름
 h_f : 포커싱코일의 높이
 h_t : 트래킹코일의 높이
 l : 감쇠가 가해지는 길이
 l_e : 코일이 자속을 수직으로 받는 거리(유효길이)
 m : 보빈의 질량
 n : 코일의 감은 수
 n_f : 포커싱코일의 감은 수
 n_t : 트래킹코일의 감은 수
 r : 전선의 길이방향에 수직인 벡터
 s : 전선의 길이방향의 좌표
 t : 시간
 x : 와이어 서스펜션의 종방향 좌표
 Φ_i : 부등식제한조건
 $\delta(x) : = 1(x=0), 0(\text{otherwise})$
 $\delta_{ij} : = 1(i=j), 0(\text{otherwise})$
 $\eta_i(t)$: 와이어 서스펜션의 각 진동모드의 진폭
 μ : 매질의 투자율
 ρ : 와이어 서스펜션의 밀도
 ω : 진동수
 ω_i : i 번째 고유진동수
 ϕ : 모터상수
 ϕ_i : 등식 제한조건
 $1(x) : = 1(x \leq 0), 0(\text{otherwise})$

1. 서 론

정보화시대에 이르러 정보의 저장, 보존과 재생의 중요성이 높아가고 있다. 특히, 높은 기록밀도, 저장성과 액세스속도가 대단히 중요하다.^(1,2) 이러한 분야에 최근 각광받고 있는 매체가 광기록 매체이다. 이와 같은 광기록 매체인 광디스크는 저장밀도가 높을 뿐 아니라, 정보의 반영구 보존성, 낮은 기록단가와 보관 취급의 용이성 등의 장점을 지니는데 이는 광픽업이 레이저를 이용하여 비접촉식으로 기록을 재생하는 원리에 기인한다.⁽³⁾ 광 픽업에서는 빛의 간섭⁽⁴⁾을 이용하는데, 빛의 파장이 매우 짧아서 기록밀도가 높고, 비접촉식이므로 기록의 손상이 거의 없다. 또한 양산이 가능하여 단가가 싸고, 크기가 작고 가벼워 운반이 쉽다. 이에 따라 최근 들어 이 디스크에서 정보를 읽어내는 광픽업(optical pick-up) 기술에 대한 많은 연구가 수행 중이다.

본 연구에서는 정회원⁽⁴⁾이 제안한 광픽업 구동계 중에서 미세구동부를 모델링하여 이를 검증하고, 여러 사양에 맞는 설계치를 다목적 최적화기법^(6,7)으로 구해낸다. 이 때 새로운 모델링에서는 와이어 서스펜션(wire suspension)을 오일러보(Euler beam)로 가정하며, 이를 통하여 그 동안 간과되어 왔던 감쇠에 대해 체계적인 접근을 하고, 이것이 동특성에 어떤 영향을 미치는지 살펴보고자 한다.^(8,9) 마지막으로, 최적해의 타당성을 검토한다.

이 연구에서 대상으로 하는 광픽업 구동계의 외관과 구성은 Fig. 1와 같다. 이러한 구조는 기본적으로 VCM(Voice Coil Motor)의 형태를 기본으로 하고 있다. 요크와 자석을 Fig. 1(a)처럼 두어 이 사이에 일정 자기장을 만들고, 여기에 다시 코일을 두어서 전류가 흐르면 플레밍의 왼손법칙에 의해서 자기력을 받도록 한다.^(10,11) 이 구조는 미세구동부와 근사구동부로 나눌 수 있다. 근사구동부와 그에 실린 미세구동부는 Fig. 1(b)에 나타내었다. 근사구동부는 베어링으로 지지되어 가이드 위를 미끄러지게 되어 있다. 미세구동부는 와이어 서스펜션과 트래킹코일, 포커싱코일, 보빈 대물렌즈로 구성된다. 와이어 서스펜션은 보빈과 근사구동부에 각각 용접되어 있다. 전류가 코일에 흐르면 자기력이 보빈에 작용하게 되어, 이 힘과 서스펜션의 스프링력이 평형이 되어 미세 트래킹이 가능하게 된다.

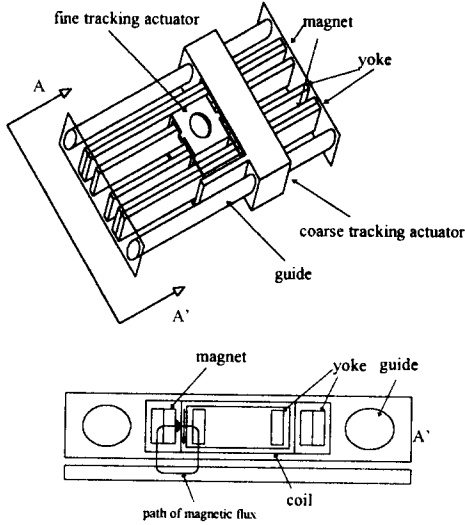


Fig. 1(a) Outward feature of the optical pick-up actuator

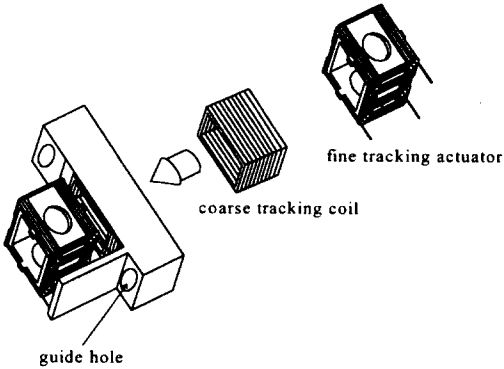


Fig. 1(b) Coarse actuator and fine actuator

2. 미세구동부 설계

2.1 미세구동부 모델링

이 장치의 근사구동부는 정회원⁽⁵⁾에 의해서 설계, 제작된 바 있으므로, 여기서는 미세구동부의 모델링과 설계만 수행한다.

이제까지의 모델링은 시스템을 간단한 질량, 스프링, 감쇠의 이차시스템으로 가정하여 계산한 것이다. 그러나 이러한 방법은 고주파영역의 특성을 알 수 없으며, 감쇠에 대한 체계적인 접근이 불가능하며 감쇠의 기준이 없었다. 새로운 모델링으로 이러한 문제점을 보완해 보자.

2.1.1 기계적 특성

Fig. 2처럼 각각의 와이어 서스펜션에 '보빈+코

일' 무게의 1/4이 연결되어 있으며, 이 질량은 회전은 허용되지 않고, 오직 상하운동만이 허용되며, 강체라고 가정한다.⁽⁷⁾

일반적으로 보의 운동방정식은 Fig. 3에서 뉴턴의 제2법칙에 의해서

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} [EI \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial x^2}] + c \frac{\partial y(x, t)}{\partial t} + \rho A \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} = f(x, t) \quad (1)$$

여기서, $f(x, t) = \delta(x-L)$, $P(t) = nBIe_i(t)$, $c=0 (l < x < L)$ 이고, a_e 는 코일이 자속을 수직으로 받는 길이이다.

한편, Fig. 2에서 다음의 경계조건이 주어진다.

$$y(0, t) = \frac{\partial y(0, t)}{\partial x} = \frac{\partial y(L, t)}{\partial x} = 0$$

$$EI \frac{\partial^3 y(L, t)}{\partial x^3} = \frac{m}{4} \frac{\partial^2 y(L, t)}{\partial t^2} \quad (2)$$

여기서, 점성감쇠가 크지 않으면 감쇠가 없을 때의 특성모드와 있을 때의 특성모드가 거의 같을 것이라고 가정할 수 있다. 그러므로 운동방정식 (1)의 균일해에서 특성모드를 구하여 앞으로의 이론 전개에 이용한다. (Fig. 4)

한편, 식 (1)과 (2)를 변형하여 균일 경계조건을 가진 다음 운동방정식을 만들 수 있다.⁽⁸⁾

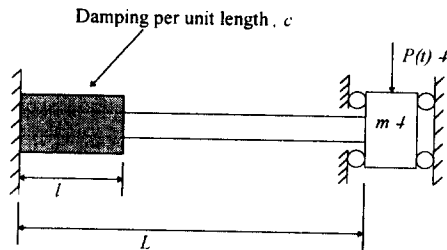


Fig. 2 Modeling of the fine actuator for optical pick-up

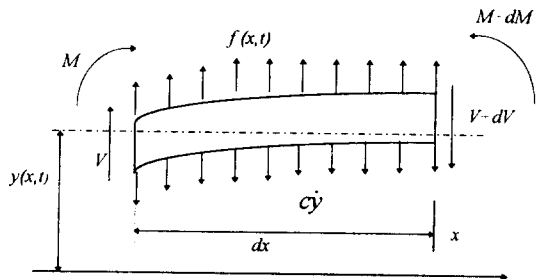


Fig. 3 Incremental length of the beam with damping

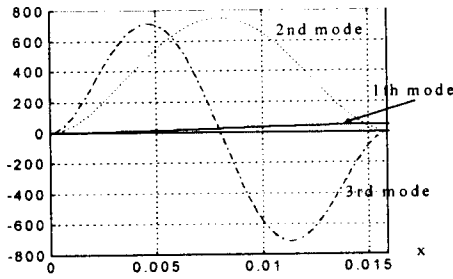


Fig. 4(a) Normalized modes

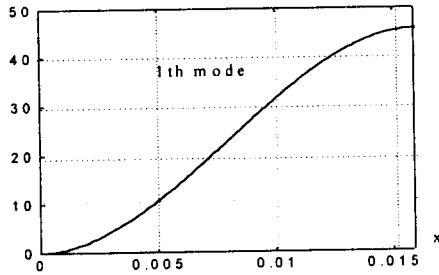


Fig. 4(b) Normalized 1-th mode

$$L[y(x, t)] + \frac{\partial}{\partial t} C[y(x, t)] + M \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} = F(t) \quad (3)$$

여기서, 각각의 미분연산자는

$$L = EI \frac{\partial^4}{\partial x^4}$$

$$M = \rho A + \frac{m}{4} \delta(x-L)$$

$$C = c[1(x) - 1(x-l)]$$

$$F(t) = \frac{P(t)}{4} \delta(x-L)$$

각각의 특성모드가 정규화되어 있다면, 정규화된 특성모드 $Y_i(x)$ 는 다음과 같은 성질을 갖는다.⁽⁷⁾

$$\int_0^L M[Y_i(x) Y_j(x)] dx = \delta_{ij}$$

$$\int_0^L Y_i(x) L[Y_j(x)] dx = \omega_i^2 \delta_{ij} \quad i, j=1, 2, \dots \quad (4)$$

한편, 전개식 이론(Expansion theorem)⁽¹¹⁾에 의하여 방정식 (3)의 해를 다음처럼 가정한다.

$$y(x, t) = \sum_{i=1}^n Y_i(x) \eta_i(t) \quad (5)$$

이를 방정식 (3)에 대입하고, 여기에 정규화된 특성모드의 성질 (4)을 이용하면,⁽⁸⁾

$$\ddot{\eta}_i(t) + \sum_{i=1}^n c_{ij} \dot{\eta}_i(t) + \omega_i^2 \eta_i(t) = N_i(t) \quad (6)$$

$$\text{여기서, } c_{ij} = \int_0^L Y_i(x) C[Y_j(x)] dx$$

$$N_i(t) = \int_0^L Y_i(x) F(t) dx$$

식 (6)을 풀어서 $\{\eta_i(t)\}$ 를 구하면, 정규화된 특성모드를 이미 알고 있으므로 전개식 이론⁽¹²⁾에서 해를 구할 수 있다. 여기서 관심있는 부분은 질량부의 운동이므로 $x=L$ 을 취하면,

$$u(t) = y(L, t) = \sum_{i=1}^{\infty} Y_i(L) \eta_i(t) \quad (7)$$

위 식에서 특성모드는 식 (1)과 (2)에서 구해지고 이를 정규화하면 $Y_i(x)$ 가 된다. 또, 식 (5)을 Laplace 변환하여 $s=j\omega$ 를 대입하면 식 (2)에서 $\frac{\eta_i}{P}(\omega)$ 를 구할 수 있다. 이를 이용하면 식 (7)에서 $\frac{u}{P}(\omega)$ 를 구할 수 있다.

2.1.2 자기적 특성

Fig. 1(b)에서 보면 요크와 자석 사이에 보빈이 지나가게 되어 있다. 이 경우 보빈과 보빈에 붙어 있는 코일의 투자율이 공기와 거의 비슷하다고 보면 자석에서 나온 자속은 공기층과 요크에 의해서 감쇠 된다. 그러므로 자석표면의 자속을 그대로 쓸 수 없다. 그러므로 자석과 요크의 크기가 결정되면, 유한요소법으로 해석하여 자속밀도를 구할 수 있다.

인덕턴스의 정의는 식 (8)과 같은데, 여기서 Φ 는 전류에 의해서 유도되는 코일 안의 자속으로 Biot-Savart의 법칙 (9)에서 자속밀도를 구하여 코일 안에서 면적분하면 구할 수 있다.^(13, 14)

$$L_c = \frac{n\Phi}{i} \quad (8)$$

$$\vec{dB} = \frac{\mu i}{4\pi} \frac{ids \times \vec{r}}{r^3} \quad (9)$$

이 때, 트래킹방향의 경우 코일 안의 매질이 요크와 공기, 두 종류인 것에 주의해야 한다.

2.1.3 전기적 특성

코일에 전압이 공급되면, 여기에 흐르는 전류는 자석의 자기장에 의해서 힘을 받게 된다. 이때 코일 자체의 인덕턴스나 저항도 코일의 운동에 영향을 미치게 된다. 또, 코일이 움직이면 역기전력이 생기게 된다.

그러므로 전기적인 특성은 다음 방정식에 따른다.⁽¹⁵⁾

$$L_c \frac{di}{dt} + Rci = V - \phi \frac{du}{dt} \quad (10)$$

또한, 자기력 $P(t)$ 는 다음 식에서 전류 $i(t)$ 와

관계되어,

$$P(t) = nBl\dot{i}(t) \quad (11)$$

여기서, 전류에 대한 구동감도는 위 식과 3.1.1의 결과에서,

$$\frac{u}{i}(\omega) = nBlc \frac{u}{P}(\omega) \quad (12)$$

한편, 식 (10)과 (11)에서 Laplace 변환한 후 $s = j\omega$ 를 대입하고 3.1.1의 결과를 이용하면 전압에 대한 구동감도는 다음과 같다.

$$\frac{u}{V}(\omega) = \frac{\frac{u}{P}(\omega)}{j\omega[Lc/\phi + \phi \frac{u}{P}(\omega)] + Rc/\phi} \quad (13)$$

2.2 정식화

2.2.1 설계사양과 설계변수

광픽업 미세구동기의 주요 사양은 Fig. 5와 Table 3과 같다.

앞의 모델링에서 구한 코일에 관한 값들(코일의

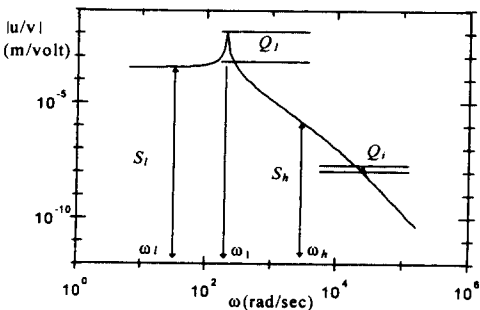


Fig. 5 Specifications of the optical pick-up fine actuator

폭 b , 높이 h 와 감은 수 n)을 써서 보빈에 붙는 코일의 치수와 물성을 알고 보빈을 만드는 재료와 대물렌즈의 물성을 알면, 보빈의 치수와 형상을 조절하여 보빈에서 생기는 첫번째 고유진동수는 사양에 쉽게 맞출 수 있으므로 설계변수에서 제외한다. 또한, Fig. 1(a)에서 트래킹코일의 유효길이는 자기 회로에서 결정되는데, 자석과 요크의 높이와 동일하다. 포커싱코일의 유효길이는 코일의 폭과 동일하게 된다.

그러므로, 설계변수와 초기값은 Table 2와 같으며, 각 변수에는 설계할 때 고려해야 할 한계치가 있다. 이것은 제안된 메카니즘의 구조상 발생하는 치수의 한계때문이다.

2.2.2 문제의 정식화

일반적인 다목적 최적설계문제의 일반적인 정의는 다음과 같다.^(5, 6)

$$\begin{aligned} \min. \quad & \mathbf{J}(\mathbf{b}) = [\mathbf{J}_1(\mathbf{b}), \mathbf{J}_2(\mathbf{b}), \dots, \mathbf{J}_m(\mathbf{b})] \\ \text{s.t.} \quad & \Psi_i(\mathbf{b}) \leq 0 \quad i=1, \text{ngc} \\ & \phi_j(\mathbf{b}) = 0, \quad i=1, \text{nhc} \end{aligned} \quad (14)$$

여기서, ngc 는 부등식제한조건, nhc 는 등식제한조건이고 \mathbf{b} 는 설계변수벡터이다. 여기서, 목적함수는 다음처럼 정의하는데 이는 다음 세대의 광픽업 구동기에서는 더 정확한 서보기능과 빠른속도가 요구될 것이라 가정에서, 감도와 첫 번째 고유진동수를 고려한 것이다.

$$\begin{aligned} \mathbf{J}_1(\mathbf{b}) &= \left[\frac{\omega_1}{35\text{Hz}} \right]^{-1} \\ \mathbf{J}_2(\mathbf{b}) &= W_1 \left[\frac{S_{1,t}}{0.4\text{mm/volt}} \right]^{-1} \\ &+ W_2 \left[\frac{S_{1,f}}{0.8\text{mm/volt}} \right]^{-1} \end{aligned} \quad (15)$$

Table 1 Spec. of the pick-up fine actuator

Items		Tracking	Focusing
1-th freq.	ω_1	$\geq 35 \text{ Hz}$	$\geq 35 \text{ Hz}$
First Q value	Q_1	$\leq 10 \text{ dB}$	$\leq 10 \text{ dB}$
Low range voltage sensitivity	S_1	$\geq 0.4 \text{ mm}$	$\geq 0.8 \text{ mm}$
High range voltage sensitivity	S_h	$\geq 0.016 \text{ mm}$	$\geq 0.032 \text{ mm}$
Low range current sensitivity $S_{1,i}$	$\geq 2.0 \text{ mm}$	$\geq 22.0 \text{ mm}$	$\geq 3.6 \text{ mm}$
$i (>1)$ th Q-value	Q_i	$\leq 3 \text{ dB}$	$\leq 3 \text{ dB}$
1-th freq. of Bobbin	ω_b	$\geq 25 \text{ kHz}$	$\geq 25 \text{ kHz}$

Table 2 Optimization results 1

Parameter	Initial	Range	$b_{1,min}$	$b_{2,min}$
d(mm)	0.2	[0.08, 0.2]	0.16035	0.17592
L(mm)	16	[13, 19]	13	13
m(g)	0.1207	[0.8, 1.5]	0.8	0.8
l(mm)	5	[3, 5]	5	5
c(N·sec/m ²)	100	[100, 140]	140	140
D _t (mm)	0.09	[0.07, 12.0]	0.089733	0.21694
b _t (mm)	13	[10, 16]	10	10
h _t (mm)	10	[8, 12]	8	8
n _t (no.)	72	[50, 100]	50	50
D _r (mm)	0.11	[0.07, 1.20]	0.092493	0.19115
b _r (mm)	10	[8, 12]	8.0519	12
h _r (mm)	3	[2, 3]	2	2
n _r (no.)	25	[20, 40]	20	20

여기서, ω_1 은 첫번째 고유진동수, W_1 과 W_2 는 가중치, $S_{t,t}$ 는 트래킹방향의 전압 저역감도이고, $S_{t,r}$ 는 포커싱방향의 전압 저역감도이다.

사양에 의하여 등식제한조건은 없다. 첫번째 고유진동수에 관한 제한조건은 다음과 같다.

$$\Psi_1 = -(\omega_1 - 2\pi \cdot 35 \text{ rad/sec}) \quad (16)$$

구동감도에 관한 제한조건은 다음과 같다.

여기서, 첨자 t 는 트래킹방향을, f 는 포커싱방향을 의미한다.

$$\begin{aligned} \Psi_2 &= -\left(\frac{u_t}{V} (35 \text{ Hz}) \right) - 0.4 \text{ mm} \\ \Psi_3 &= -\left(\frac{u_f}{V} (35 \text{ Hz}) \right) - 0.8 \text{ mm} \\ \Psi_4 &= -\left(\frac{u_t}{i} (35 \text{ Hz}) \right) - 0.5 \text{ mm} \\ \Psi_5 &= -\left(\frac{u_f}{i} (35 \text{ Hz}) \right) - 0.9 \text{ mm} \\ \Psi_6 &= -\left(\frac{u_t}{V} (200 \text{ Hz}) \right) - 0.016 \text{ mm} \\ \Psi_7 &= -\left(\frac{u_f}{V} (200 \text{ Hz}) \right) - 0.032 \text{ mm} \end{aligned} \quad (17)$$

각 고유진동수에서의 Q 값에 관한 제한조건은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Psi_8 &= (Q_{1,t} - 10 \text{ dB}) \\ \Psi_{10} &= (Q_{2,r} - 2 \text{ dB}) \\ \Psi_{11} &= (Q_{3,r} - 3 \text{ dB}) \end{aligned} \quad (18)$$

3.3 다목적 최적화

3.3.1 Pareto의 최적해와 제약식법

목적함수가 하나 이상인 경우 하나의 목적함수를 최소화할 때 다른 목적함수가 반드시 최소화되는 것은 아니다. 이러한 의미에서 Pareto에 의해서 Pareto의 최적해의 개념이 제안되었다. Pareto의 최적해는 하나의 목적함수를 작게 하기 위해서는 다른 목적함수를 크게 하지 않고는 불가능한 최적해들의 집합을 말한다. 이 문제에서도 감도가 커지면 서스펜션의 강성이 작아야 하는데 이 경우 첫번째 고유진동수는 작아지게 되고, 그 반대의 경우도 성립하게 된다. 그러므로 여기서 구하는 최적해는 Pareto의 최적해가 된다.^(5,6)

제약식법(ϵ -constraint method)은 다목적 최적화의 한 방법으로서 체계적이며, 간단하고 복잡한 단계가 없어서 많이 쓰인다. 여기서 이에 대해 간단히 살펴보자.

식 (15)에서 주목적함수(J_p)를 하나를 잡고 나머지는 모두 제약식으로 바꾼다.

$$\min. J_p(\mathbf{b})$$

$$\begin{aligned}
 \text{s.t. } & J_i(\mathbf{b}) \leq \varepsilon_i, \quad i=1, \dots, m (\neq p) \\
 & \Psi_i(\mathbf{b}) \leq 0 \quad i=1, \dots, n_{gc} \\
 & \psi_j(\mathbf{b}) = 0 \quad j=1, \dots, n_{hc}
 \end{aligned} \tag{19}$$

여기서, i 번째 부목적함수의 상한치 ε_i 를 변화시켜 가면서 Pareto의 최적해를 구할 수 있다. 계산 방법은 SQP(Sequential Quadratic Programming)을 이용하였다.

한편, 부목적함수를 최소화하는 설계벡터를 $\mathbf{b}_{p,min}$ 라고 하고, 주목적함수를 최소화하는 설계벡터를 $\mathbf{b}_{p,min}$ 라 하면, ε_i 는 다음 식의 범위에서 변화시킨다.

$$J_i(\mathbf{b}_{i,min}) \leq \varepsilon_i \leq J_i(\mathbf{b}_{p,min}) \tag{20}$$

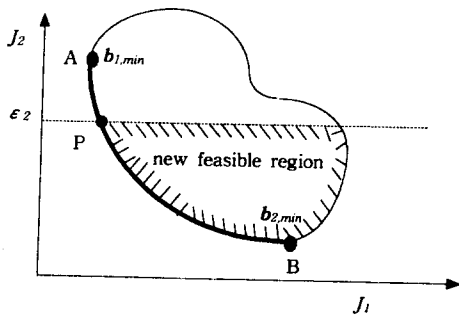


Fig. 6 ε -constraint method

이러한 원리를 목적함수가 두 개일 경우에 대해서 Fig. 6에 나타내었다.⁽⁶⁾ 여기서, 우리가 구하고자 하는 Pareto의 최적해는 곡선 AB이다. 이를 구하기 위해서 먼저 J_1, J_2 를 최소화시키는 설계벡터가 각각 $b_{1,min}$ 과 $b_{2,min}$ 을 구한다. 식 (20)에 의하여 ε_2 는 두 점 A, B의 J_2 측 좌표 사이에서 변화시킨다. 이러한 각각의 ε_2 의 값에 대하여 J_1 을 최소화시키면 새로운 가용영역(new feasible range)이 생기게 되어, 점 P를 구할 수 있는데 이 점들의 집합이 Pareto의 최적해가 된다.

3.3.2 최적화 결과

본 연구에서는 주목적함수를 J_1 으로 두고, 부목

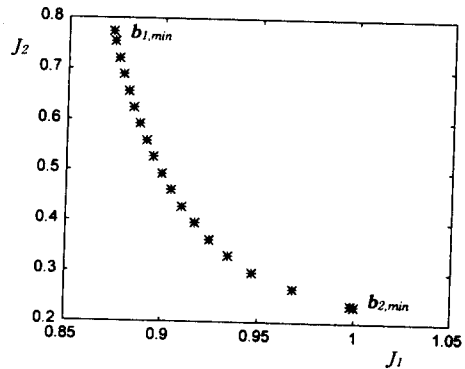


Fig. 7 Pareto's optimal solutions

Table 3 Pareto's optimal solutions

Parameter	1	2	3	4	5
d(mm)	0.16326	0.16746	0.17593	0.16046	0.16147
L(mm)	13	13	13	13	13
m(g)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
l(mm)	5	5	5	5	5
c(N·sec/m ²)	140	140	140	140	140
D _t (mm)	0.11970	0.15260	0.21657	0.91130	0.10242
b _t (mm)	10	10	10	10	10
h _t (mm)	8	8	8	8	8
n _t (no.)	50	50	50	50	50
D _r (mm)	0.11790	0.14111	0.19037	0.093762	0.10372
b _r (mm)	8.0789	9.7082	12	8.0773	8.3014
h _r (mm)	2	2	2	2	2
n _r (no.)	20	20	20	20	20

적함수를 J_2 로 두었다. 첫 번째 고유진동수를 최대화하기 위한 목적함수 J_1 을 최소화하면 첫 번째 고유진동수는 40.098 Hz이고 트래킹방향과 포커싱방향의 지역감도는 각각 0.73108 mm/volt, 0.80000 mm/volt가 되며, 이때 두 함수의 값은 각각 $J_1=0.87288$, $J_2=0.77357$ 이다. 또, 각 방향의 지역감도를 크게 하기 위한 목적함수 J_2 를 최소화하면 첫 번째 고유진동수는 35 Hz이고, 트래킹방향과 포커싱방향의 지역감도는 각각 2.8658 mm/volt, 2.4533 mm/volt가 되며, 이때 두 함수의 값은 각각 $J_1=1.0000$, $J_2=0.23284$ 이다. 두 결과의 설계 변수벡터를 Table 2에 나타내었다.

그러므로 ε_2 의 범위는 다음과 같다.

$$0.77357 \leq \varepsilon_2 \leq 0.23284 \quad (21)$$

이 범위를 등분하여 $\varepsilon_2^k (k=1, \dots, K)$ 를 만들고, 이 각각의 값들을 (21)을 적용한다. 이때 ε_2^{k-1} 를 쓰는 단계의 최적화 결과를 ε_2^k 를 쓰는 단계의 초기값으로 이용한다. 이러한 각 Pareto의 최적해를 목적함수의 평면 위에 나타내었다. (Fig. 7)

모든 계산에서 J_2 안의 두 가중치는 두 전압감도에 같게 주었다. 여기서, 두 방향의 감도를 모두 부목적함수로 할 수도 있지만, 이렇게 하는 경우 계산량이 크게 늘고 시간이 많이 걸리게 되므로 J_2 와 같이 목적함수를 두었다.

4. 결 론

본 논문에서는 광픽업 미세구동부를 설계하는 체계적인 방법을 제시하였으며, 제약식법을 이용하여 다목적 최적설계를 수행하였다. 이 방법에 의하면 감도의 효과나 고주파 특성까지 최적설계에서 다룰 수 있게 모델링된다.

이러한 최적화 결과 Pareto의 최적해는 상당히 불복하고 각각의 단계의 초기값이 우수해서 계산을 수월하게 수행할 수 있다.

만약 각 단계의 초기값이 국소 최소점 가까이 놓이게 되면 계산결과가 정확하지 않아서 Fig. 7의 곡선이 매끄럽지 못하고 급격한 변화를 보이게 된다. 그러므로 매 단계마다 Fig. 7처럼 그림을 그리고 이 결과로부터 계산결과를 받아들일지를 결정해야 하는 대화식 진행이 필요하다. 만약 받아들일 수 없다면, 원래 초기값보다 약간 변화된 초기값을 이용해야 한다. 이러한 과정은 매우 경험이 많이

필요한 것이므로 계산방법을 더 개선해야 할 필요가 있다.

이러한 결과에서 광픽업 미세구동부의 차세대 기술에 대응할 수 있는 설계값을 공급할 수 있다.

참고문헌

- (1) Takahashi, N., Sato, H., Osawa, H., Nagai, K., Isobe, H. and Kasuga, I., 1996, "DVD/CD Compatible Pick-up Head," *International Symposium on Optical Memory and Optical Data Storage, Technical Digest Series, Vol. 12, OThC5-1*, pp. 326~328.
- (2) Kiyoshi Matsumoto and Takeshi Maeda, 1989, "Acousto-optic Accessing in Optical Disks," *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 28, pp. 335~340.
- (3) Jung Kee Hyoek, 1992, *Compact Disk*, Ga-nam Co., pp. 16~18.
- (4) Eugene Hecht, 1987, *Optics*, 2nd ed., Addison-Wisely Publishing Co., Inc., pp. 333~393.
- (5) Hoe won Jung, 1996, "Design and Fine Tracking of Optical Pick-up Mechanism," Department of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), pp. 6~9.
- (6) Ju-Tae Kim, 1996, "An Efficient Solution Technique for Multiobjective Optimization," Department of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), pp. 3~7.
- (7) Jun Bae Lee, 1996, "Development of a Global/Multicriteria Optimization Algorithm Based on the genetic Algorithm," Department of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), pp. 38~39.
- (8) Song Sim, 1987, "Dynamic Analysis of an Indeterminate System with Viscoelastic Materials," Department of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), pp. 1~10.
- (9) Leonard Mirovitch, 1967, *Analytical Method in Vibration*, Macmillan Publishing Co., Ltd., pp. 429~432.

- (10) Yui Inoue and Yoshiro Sato, 1974 March, "New Linear Motion Actuator for Head Positioning," *FUJITSU Scientific & Technical Journal*, pp. 95~118.
- (11) David K. Cheng, 1993, *Fundamentals of Engineering Electromagnetics*, Addison-Wesley Publishing Co., pp. 214~222.
- (12) Leonard Mirovitch, 1967, *Analytical Method in Vibration*, Macmillan Publishing Co., Ltd., pp. 141~143.
- (13) Nasar, S. A. and Unnewehr, L. E., 1983, *Electromechanics and Electric Machines*, 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., p. 25.
- (14) Nasar, S. A. and Unnewehr, L. E., 1983, *Electromechanics and Electric Machines*, 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., pp. 49~50.
- (15) Hoe Won Jung, 1996, "Design and Fine Tracking of Optical Pick-up Mechanism," Department of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), pp. 12~13.